



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

JORDANIO FERNANDES DA SILVA

**MODELOS MATEMATICOS APLICADOS A CURVA DE CRESCIMENTO E  
DEPOSIÇÃO DE NUTRIENTES EM COELHOS**

**Areia -PB  
2017**

JORDANIO FERNANDES DA SILVA

**MODELOS MATEMATICOS APLICADOS A CURVA DE CRESCIMENTO E  
DEPOSIÇÃO DE NUTRIENTES EM COELHOS**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal da Paraíba,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Zootecnia, área de concentração em  
produção de não-ruminantes, para  
obtenção do título de mestre.

**Comitê de Orientação:**

Prof. Dr. Leonardo Augusto Fonseca Pascoal

Prof. Dr. José Humberto Vilar da Silva

Prof. Dr. Maria Lindomárcia Leonardo da Costa

**Areia -PB**

**2017**

S586m Silva, Jordano Fernandes da.

Modelos matematicos aplicados a curva de crescimento e deposição de nutrientes em coelhos / Jordano Fernandes da Silva. - Areia, 2017.

46 f. : il.

Orientação: Leonardo Augusto Fonseca Pascoal.

Coorientação: José Humberto Vilar da Silva, Maria Lindomárcia Leonardo da Costa.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Zootecnia. 2. Cunicultura. 3. Ganho de peso. 4. Modelos não-lineares. 5. Taxa de crescimento. I. Pascoal, Leonardo Augusto Fonseca. II. Silva, José Humberto Vilar da. III. Costa, Maria Lindomárcia Leonardo da. IV. Título.

UFPB/BC



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

PARECER DE DEFESA DO TRABALHO DE DISSERTAÇÃO

**TÍTULO:** “Modelos Matemáticos Aplicados a curva de Crescimento e Deposição de Nutrientes em Cocos”

**AUTOR:** Jordano Fernandes da Silva

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Leonardo Augusto Fonseca Pascoal

#### JULGAMENTO

**CONCEITO:** APROVADO

**EXAMINADORES:**

Prof. Dr. Leonardo Augusto Fonseca Pascoal  
Presidente  
Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. George Rodrigo Beltrão da Cruz  
Examinador  
Universidade Federal da Paraíba

Profª. Dra. Mariany de Souza Brito  
Examinador  
Universidade Federal Rural do Pernambuco

Areia, 31 de agosto de 2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA)



### CERTIFICADO

Certificamos que o projeto intitulado **"CURVA DE CRESCIMENTO E DEPOSIÇÃO DE NUTRIENTES E ENERGIA EM COELHOS"**, protocolo nº 049/2016 sob a responsabilidade da pesquisadora Prof. Dr. Leonardo Augusto Fonseca Pascoal – que envolve a produção, manutenção e/ou a utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) – encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal da Paraíba (CEUA-UFPB).

Vigência do Projeto	2016 - 2017
Espécie/linhagem	Coelhos ZNB
Número de animais	40 (20 + 20)
Idade/peso	1 dia e 55 g
Sexo	Machos e Fêmeas
Origem	Cunicultura do Campus II da UFPB

Prof. Dr. Ricardo Romão Guerra  
Vice-Coordenador CEUA-UFPB

## **DEDICATÓRIA**

### **A minha família**

Por todo esforço realizado em prol da minha formação pessoal e profissional, e por todo o amor demonstrado, sempre.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter concedido saúde e sabedoria para que eu pudesse realizar este trabalho.

Agradeço a minha mãe (Luzinete Fernandes Matias) e minha avó (Júlia Fernandes Matias) que apesar de todas as dificuldades conseguiram me oferecer uma boa educação e que, me ajudaram a moldar meu caráter.

Agradeço a minha amada Jéssica Cristina que, apesar da distância e dos altos e baixos, sempre me apoiou e, sempre esteve do meu lado nas horas difíceis com muita paciência e amor.

A todos os meus familiares que sempre me apoiaram e torceram pela minha vitória, em especial, meu irmão (Marcos Fernandes da Silva), meu padrasto (Miguel Barbalho), minha tia (Maria Célia) e meu primo (Luís Fernando).

Ao professor Leonardo Augusto Fonseca Pascoal, que desde 2011 vem sendo meu orientador, mentor, e acima de tudo, um grande amigo. Servindo como exemplo de profissional ético e comprometido com o que faz. Sempre disposto a ajudar, e com valiosos conselhos, os quais levarei por toda a vida.

Aos professores José Humberto Villar da Silva e Maria Lindomárcia Leonardo da Costa, membros do meu comitê de orientação, pelas valiosas contribuições neste trabalho.

Ao professor George Rodrigo Beltrão da Cruz, pela total disponibilidade e apoio na realização da análise estatística.

A todo corpo docente do programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da UFPB pelos conhecimentos transmitidos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo, pois sem ela não teria conseguido êxito na obtenção do título de mestre.

Agradeço a todos os integrantes do NESC (Núcleo de Estudos em Suínos e Coelhos): Manuel Neto, Amanda Dantas, Matheus Henrique, Jorge Luís, Jairo Janailton, Vanessa, Cassio Cavalcanti, Priscila e Jhonatan Madson, pois a colaboração de todos foi fundamental para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos amigos, Leomácio Ferreira, Tales Alves, Luís Sinésio, Marcus Lacerda, John Lenon, Francisco Oliveira e, em especial, Manuel Neto e Aliton Nunes que sempre estiveram presentes, compartilhando todos momentos que ficarão guardados para sempre na memória e dando apoio constante ao longo desses três últimos anos.

Muito obrigado!



## SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	X
Lista de Tabelas.....	XI
Resumo.....	XII
Abstract.....	XIII
1. INTRODUÇÃO .....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. Panorama da Cunicultura.....	16
2.2. Curvas de crescimento .....	17
2.2.1. Modelos matemáticos .....	18
2.3. Deposição de nutrientes.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	24
3.1. Local do experimento .....	24
3.2. Manejo experimental .....	24
3.3. Composição química.....	26
3.4. Modelos matemáticos aplicados .....	26
3.5. Critérios adotados para a escolha do modelo mais adequado.....	27
3.6. Taxa de crescimento absoluto.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
4.1. Estimativas obtidas pela aplicação dos modelos .....	29
4.2. Curvas de crescimento.....	30
4.3. Taxa de crescimento absoluto .....	35
4.4. Composição e deposição de nutrientes.....	35
5. CONCLUSÕES.....	41
6. REFERÊNCIAS.....	42

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Curvas de crescimento estimado e observado pelos modelos de Gompertz e Logístico, Exponencial polinomial quadrático e Quadrático logarítmico.....32
- Figura 2.** Gráficos de dispersão dos resíduos conforme os modelos de Gompertz (a) e Logístico (b), Exponencial polinomial quadrático (c) e Quadrático logarítmico (d).....35
- Figura 3.** Taxa de crescimento absoluto (TCA) de coelhos da Raça Nova Zelândia Branca obtido pelo modelo de Gompertz.....36
- Figura 4.** Curvas de deposição de matéria seca (a), proteína (b), umidade (c), cinzas (d), cálcio (e) e fósforo (f) observadas e estimadas pelo modelo Logístico.....39

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Composição química e percentual da dieta fornecida aos coelhos durante o período experimental.....	25
<b>Tabela 2</b> - Estimativas dos parâmetros, quadrado médio do resíduo (QMR), desvio médio absoluto dos resíduos (DMA) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de acordo com os modelos estudados.....	30
<b>Tabela 3</b> - Estimativas dos parâmetros e erros-padrão para composição corporal estimadas pelo modelo Logístico.....	37

## MODELOS MATEMATICOS APLICADOS A CURVA DE CRESCIMENTO E DEPOSIÇÃO DE NUTRIENTES EM COELHOS

**RESUMO:** A rápida taxa de crescimento em animais no início da vida pode ser acompanhada por vários problemas de cunho metabólico, esquelético, podendo até mesmo comprometer a vida do animal. E tendo em vista a escassez desses estudos na cunicultura, objetivou-se com este estudo avaliar a curva de crescimento e deposição de nutrientes de coelhos da raça Nova Zelândia Branca, utilizando diferentes modelos matemáticos. Para isto, foram utilizados dados de pesagem semanal de 274 coelhos da raça Nova Zelândia branca, com peso inicial médio de  $0,052 \pm 0,009$  quilogramas, oriundos de 40 matrizes, criados em regime confinado em gaiolas de metal, recebendo água e ração *ad libitum*, com dieta mista formulada para atender as exigências nutricionais dos animais nas fases de crescimento e reprodução, apresentando 16% de proteína bruta, 2,472 Mcal/kg de energia digestível. Os dados coletados foram submetidos aos modelos matemáticos de Gompertz, Logístico, Exponencial polinomial quadrático e Quadrático Logarítmico para verificar o ajuste da curva média de crescimento. Os parâmetros dos modelos foram estimados pelo método de Gauss-Newton por meio do procedimento NLIN do SAS. Os critérios utilizados para selecionar o modelo para curva de crescimento foram quadrados médio do resíduo (QMR), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio médio absoluto dos resíduos (DMA), e gráfico de distribuição dos resíduos. Após a escolha do melhor modelo, foi calculada a taxa de crescimento absoluta através da equação de Gompertz. Os resultados apontaram que o modelo de Gompertz foi o mais adequado para descrever as curvas de crescimento levando em consideração todos os parâmetros avaliados nesse estudo e, que o modelo Logístico foi o mais eficiente para estimar a curva de deposição de nutrientes em coelhos. O modelo de Gompertz apresenta maior qualidade de ajuste às curvas de crescimento, estimando o ponto de inflexão aos 49 dias de idade com ganho diário de 26 gramas.

**Palavras-chave:** Cunicultura. Ganho de peso. Modelos não-lineares. Taxa de crescimento.

## MATHEMATICAL MODELS APPLIED TO GROWTH CURVE AND NUTRIENT DEPOSITION IN RABBITS

**ABSTRACT:** The rapid rate of growth in animals at the beginning of life can be accompanied by several problems of metabolic, skeletal, and may even compromise the life of the animal. And in view of the scarcity of these studies in rabbit breeding, the aim of this article is to evaluate the growth curves of White New Zealand rabbits. For this, we used weekly weighing data of 274 White New Zealand rabbits, with an initial average weight of  $0,052 \pm 0,009$  kilograms, originating from 40 matrices, reared in a cage confined in metal, receiving water and food ad libitum, with mixed diet formulated to meet the nutritional requirements of the animals in the growth and reproduction phases. The collected data were submitted to the mathematical models of Gompertz, Logistic, Quadratic polynomial exponential and Logarithmic quadratic to estimate asymptotic weight and maturation rate. The parameters of the models were estimated by the Gauss-Newton method using the NLIN procedure of SAS. The criteria used to select the model for the growth curve were mean square of the residual, determination coefficient, mean absolute deviation of the residues, and residual distribution graphics. After choosing the best model, the absolute growth rate was calculated using the Gompertz equation. The results showed that the Gompertz model was the most adequate to describe the growth curves taking into account all parameters evaluated in this study and that the logistic model was the most efficient to estimate the deposition curves in rabbits. The Gompertz model presents a higher adjustment quality to the growth curves, estimating the inflection point at 49 days of age with daily gain of 26 grams.

**Keywords:** Cuniculture. Weight gain. Nonlinear models. Growth rate.

## 1. INTRODUÇÃO

Devido ao seu alto valor nutricional, sabor e o aumento da procura por produtos mais saudáveis, a carne de coelho vem ganhando cada vez mais espaço no mercado interno brasileiro. Isso tem levado o setor cunícola a buscar, cada vez mais, melhorar seus índices produtivos através de melhoramento genético e melhoria da nutrição. O problema é que em boa parte das espécies animais, a seleção genética e a melhoria da nutrição têm levado a uma taxa de crescimento rápida nas criações, em contrapartida, a taxa de crescimento rápida no início da vida é acompanhada por vários problemas, tais como: elevada deposição de gordura corporal, alta incidência de desordens metabólicas, alta mortalidade, e alta incidência de doenças esqueléticas (BOVERA et al., 2008).

Buscando compreender melhor a dinâmica de crescimento nos animais, as pesquisas têm focado seus objetivos na determinação das curvas de crescimento e deposição de nutrientes. Para a determinação dessas curvas, é necessário que se utilize ferramentas adequadas, dentre as quais estão os modelos matemáticos. Esses modelos apresentam estimativas de parâmetros que possuem significado biológico definido. Dentre os modelos mais utilizados para a estimativa de parâmetros em animais, pode-se citar os modelos de Gompertz, Logístico, Von Bertalanffy, Brody e Richards.

Embora alguns autores tenham buscado compreender melhor a dinâmica de crescimento em coelhos com relação a sua idade (BLASCO et al., 2003; ORHERUATA et al., 2010; SAMPAIO et al., 2005), há ainda uma escassez de informações muito grande sobre a relação da curva de crescimento com a taxa de deposição de nutrientes na carcaça de coelhos, do nascimento até a idade de abate, tendo em vista que a maioria das pesquisas desenvolvidas com coelhos levam em consideração a determinação da curvas de crescimento a partir dos 30 dias de idade.

O estudo da curva de crescimento, da composição corporal e das taxas de deposição dos tecidos corporais torna-se importante para o entendimento de como os coelhos crescem e depositam seus tecidos, possibilitando a estimação de exigências nutricionais e, conseqüentemente, a elaboração de melhores programas nutricionais visando aumentar cada vez mais os índices produtivos, assim como também é importante para que se tenha uma melhor compreensão dos problemas fisiológicos e doenças metabólicas que acometem os coelhos.

Portanto, este estudo tem por objetivo testar alguns modelos matemáticos na estimativa da curva média de crescimento e de deposição de nutriente de coelhos da raça Nova Zelândia Branca do nascimento aos 84 dias de idade.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Panorama da Cunicultura**

Os índices de produção de carne estão cada vez mais elevados, sendo que a procura por alimentos de alto valor nutricional, que sejam benéficos a saúde, aumenta diariamente no cenário internacional. A carne de coelho é considerada por muitos pesquisadores uma das carnes mais saudáveis dentro desses parâmetros, possuindo em sua composição uma grande quantidade de proteína e baixos níveis de gordura e colesterol (ENSER et al., 1996; HERNÁNDEZ, P. et al., 2000; SOUZA et al., 2009).

A criação de coelhos surgiu a partir da procura por animais de fácil manejo e que se adaptassem bem às condições das regiões produtoras. O coelho apresenta características importantes para a exploração zootécnica, por ser um animal dócil e de alta prolificidade, conseguindo aproveitar mais adequadamente os nutrientes presentes nos alimentos devido a duas características peculiares, a alta capacidade fermentativa na porção cecal do intestino (ceco funcional) e a realização da cecotrofia. Além disso, apresenta um manejo simples, onde uma quantidade considerável de animais pode ser cuidada por, apenas, um tratador. É um dos poucos animais que apresenta o máximo de aproveitamento, chegando a 100%, ou seja, dele se aproveita tudo desde a pele, carne, esterco, sangue, cérebro, olhos e patas, favorecendo com isso a geração de novos empregos para sociedade (PIMENTEL et al., 2014). Neste sentido, a cunicultura aparece como uma atividade zootécnica bastante promissora que pode melhorar a renda familiar, ser explorados em espaços menores, e com baixo investimento quando comparadas à outras atividades de exploração zootécnica.

O estudo da curva de crescimento, composição corporal e das taxas de deposição dos tecidos corporais dos coelhos é de grande importância econômica na cunicultura, pois há a necessidade de se ter, cada vez mais, controle sobre a capacidade de desenvolvimento desses animais, no entanto, há poucos estudos nessa área, pois o coelho ainda é, muitas vezes, visto como um animal de companhia, e não como fonte de alimento. Almeida (2012) sugere que a falta de oferta de carne e de organização no setor da cunicultura, são os principais aspectos responsáveis pela falta de estímulo no consumo. É necessário que haja mais investimentos voltados para a divulgação da carne de coelho, aumentando a visibilidade e consequentemente o seu consumo pelo país.



Segundo dados da FAO em 2016 o efetivo total do rebanho mundial de coelhos e lebres foi de 316.686 milhões de cabeças, com o continente asiático dominando o cenário, e a China destacando-se como maior produtor mundial, possuindo um rebanho de 226.202 milhões de animais, seguida da República Popular Democrática da Coreia com 35.946 milhões. Com relação ao cenário nacional, ainda são escassos e pouco atualizados os dados sobre a produção de coelhos no país. Dados do IBGE de 2011 mostram um rebanho de 233.607 animais, porém dados da FAO de 2016 mostram um rebanho de 183 mil cabeças, evidenciando uma queda considerável na produção nacional de coelhos. No que diz respeito a produção de carne, em 2016 foram produzidas 1.428.985 toneladas de carne de coelho, com a Ásia em primeiro lugar (FAO, 2016). Ainda segundo a FAO, o Brasil produziu apenas 1.319 toneladas de carne. Infelizmente, a falta de incentivos no Brasil por parte do governo para a criação de coelhos e as barreiras culturais envolvendo o consumo de carne desses animais limitam bastante a expansão da atividade cunícula no país.

## **2.2. Curva de crescimento**

A aplicação da curva de crescimento tem, por finalidade, modelar o padrão de resposta de dados peso-idade ao longo da vida do animal. Na produção animal elas são análises que relacionam o peso com a idade do animal por meio de modelos matemáticos não lineares. Esses modelos permitem visualizar as características de crescimento de uma população de indivíduos por meio das respostas ao longo do tempo, ajudando a melhorar os índices produtivos.

Dentre as aplicações das curva de crescimento no âmbito da produção animal, podemos citar a capacidade de resumir em três ou quatro parâmetros as características de crescimento da população; avaliar respostas de tratamentos ao longo tempo; estudar as interações de respostas das subpopulações ou tratamentos com o tempo; identificar em uma população os animais mais pesados em idades mais jovens e obter a variância entre e dentro de indivíduos de grande interesse nas avaliações genéticas (MANSOUR et al., 1991).

Cada tipo de animal possui uma curva de crescimento, a qual deve ser observada em condições ideais ou não limitantes. Alguns fatores inerentes aos animais como diferentes linhagens e sexo podem afetar em vários aspectos as características da curva

de crescimento, como peso à maturidade, composição e taxas de deposição dos nutrientes corporais (MARCATO, 2007). Diversas são as equações matemáticas utilizadas para a descrição do crescimento dos animais, dentre os modelos propostos destacam-se Brody, Bertalanffy, Gompertz, Logístico, Richards e Robertson. O que determina a escolha do modelo a ser aplicado são o coeficiente de determinação, o quadrado médio residual e a interpretabilidade biológica dos parâmetros avaliados. Embora Gómez e Blasco (1992) afirmem que em comparação com os demais modelos propostos, o modelo proposto por Gompertz seja o que apresenta um melhor encaixe para descrever o crescimento de coelhos, continua sendo de suma importância que mais pesquisas sejam desenvolvidas no intuito de estabelecer o melhor modelo a ser aplicado, dadas as especificidades de cada pesquisa.

### **2.2.1. Modelos matemáticos**

Atualmente os modelos matemáticos estão inseridos por todo o mundo, por meio de pesquisas científicas que são feitas nos mais variados ramos da ciência, através dos experimentos que são realizados na produção animal. Sodré (2007) afirma que um modelo matemático é uma representação de um sistema real, representando um sistema ou a forma como ocorrem as modificações dos mesmos. Existem dois tipos de modelos matemáticos que são os lineares, caracterizados por apresentarem variáveis de forma linear nos parâmetros, e os não-lineares, caracterizados por estimar as curvas de crescimento dos animais, representado pela presença da curva sigmoide. No entanto, cada modelo a ser seguido deve ser escolhido com base no projeto e nas análises que serão realizadas no laboratório, Freitas et al. (2014) afirmam que a escolha do melhor modelo é condicionada pelo período de avaliação, visto que fatores ambientais apresentam influência no desenvolvimento produtivo.

Os modelos não lineares mais utilizados nas pesquisas científicas são, Brody, Bertalanffy, Gompertz, Logístico, Richards, cada modelo possui características que se diferenciam entre si. Echeverri (2010) afirma que a interpretação biológica dos parâmetros dos modelos não-lineares depende do entendimento da relação entre a genética e o ambiente, o qual gera um padrão particular. Ainda de acordo com o mesmo autor o modelo de Brody foi proposto para descrever o crescimento que ocorre após o ponto de inflexão ou fase de auto desaceleração do crescimento, todavia muitos autores

que o utilizam consideram o ponto de inflexão o nascimento, podendo ser usado para descrever todo o crescimento pós-natal (OLIVEIRA, 1995).

O modelo de Von Bertalanffy foi desenvolvido baseado na suposição de que o crescimento é a diferença entre as taxas de anabolismo e catabolismo dos tecidos (FORNI, 2007). Segundo Amâncio (2011) o modelo de Gompertz é utilizado para descrever o crescimento dos animais e dos seus tecidos, sendo a massa corporal dos animais sempre superior a 0, o que indica que o animal já nasce com algum peso. O modelo de Gompertz vem sendo empregado em várias pesquisas científicas, principalmente em avaliação do crescimento com frangos de corte, curva de crescimentos de bovinos e, em menor escala, em estudos com a modelagem da curva de crescimento em coelhos. Entretanto, é necessário que haja mais pesquisas relacionadas com os coelhos, utilizando os modelos não lineares para avaliar a taxa de crescimento desses animais, na medida que cresce cada vez mais a produção e o consumo dos produtos derivados dos coelhos.

O modelo logístico é caracterizado por descrever o crescimento das populações, sendo proposto para o estudo do crescimento de animais por Nelder (1961). Esse modelo também foi utilizado no ajuste de curvas de crescimento de aves por Freitas et al (1984) e Tholon (2006), apresentando ajustes satisfatórios. Gamito (1998) comenta ainda, que este modelo é adequado para descrever o crescimento de animais em laboratório.

O modelo de Richards segundo Echeverri (2010) apresenta uma função com quatro parâmetros e ponto de inflexão variável. Esse ponto de inflexão pode variar entre indivíduos de uma mesma população. De acordo com Brown et al., (1976), pode haver grandes dificuldades na utilização desta curva devido à não convergência da solução iterativa.

Os modelos matemáticos estão presentes na maioria das pesquisas que abrangem a categoria animal. Para coelhos, alguns trabalhos vêm sendo realizados afim de aprimorar o crescimento e a taxa de deposição de nutrientes desses animais, na medida que a produção dos derivados dos coelhos vem crescendo ao longo do tempo. Contudo torna-se de grande relevância o estudo dos modelos para avaliar a curva de crescimento dos animais, diminuindo os custos com rações que são desperdiçadas na produção, além de proporcionar avanços significativos no melhoramento genético. Vários exemplos

podem ser relatados através das pesquisas científicas na área de nutrição animal, no qual podem ser encontrados trabalhos realizados a partir dos modelos matemáticos sejam eles lineares ou não lineares.

Amâncio (2011) avaliando a curva de crescimento em tilápias nilóticas da linhagem GIFT, observou que o melhor modelo foi o de Gompertz, logo o recomendando, pois apresentou melhor ajuste aos dados estimando e melhor eficácia nos parâmetros biológicos e de interesses econômico. Rocha-Silva et al. (2016) também constatou em seu trabalho com codornas de corte que o melhor modelo para descrever a curva de crescimento tanto para machos e fêmeas foi o modelo de Gompertz. Teixeira (2016) ao trabalhar com codornas de corte mantidas em ambiente termo-neutro verificou que o modelo de Gompertz foi o mais adequado para descrever o crescimento do peso em jejum, peso depenado e peso da carcaça independente do sexo. Já para descrever o crescimento das vísceras o modelo mais adequado foi o de Von Bertalanffy, porém para descrever o crescimento das penas, os modelos que tiveram mais destaques foi o Logístico para os machos e Gompertz para as fêmeas.

Freitas (2005) ao pesquisar sobre as curvas de crescimento dos animais, verificou que para frangos os modelos de Gompertz, Logístico e ainda Von Bertalanffy apresentaram bons ajustes dos dados. Já em relação aos pesos iniciais dos frangos ambos os modelos de Gompertz e Von Bertalanffy subestimaram os pesos iniciais até 12 dias de idade. Veloso et al. (2015) ao trabalhar com crescimento de genótipos de frangos caipira verificou que os modelos de Gompertz, von Bertalanffy e Logístico se ajustaram bem ao crescimento dos genótipos estudados, mas o modelo proposto por von Bertalanffy mostrou-se o mais adequado.

Tedeschi et al. (2000) ao estudar a curva de crescimento em bovinos da raça Guzerá, concluiu que o modelo matemático que apresentou melhor eficiência na avaliação dos dados foi Gompertz. No entanto, Echeverri (2010) ao estudar a curva de crescimento em touros da raça Guzerá detectou que o modelo que apresentou melhor ajuste dos dados avaliados foi o Logístico. Já Mendes et al. (2009) ao trabalhar com fêmeas Hereford notou que o modelo de Gompertz se ajustou bem aos dados e apresentou melhores resultados, porém a função de Gompertz subestimou o peso adulto dos animais.

Freitas (2005) ao pesquisar sobre curvas de crescimento dos animais, observou que para a espécie suína as pesquisas são mais abundantes, logo em seu trabalho verificou que os modelos mais adequados foram Gompertz, Logístico e Von Bertalanffy. Entretanto, Macedo et al. (2014) ao trabalhar com modelagem hierárquica bayesiana na avaliação de curvas de crescimento de suínos genotipados para o gene halotano, verificou que o modelo que mais se ajustou na avaliação dos dados foi o modelo Logístico.

Poucos trabalhos são encontrados na literatura com curvas de crescimento com a utilização de modelos matemáticos para coelhos, sendo encontrados mais trabalhos com outras espécies de animais. Neste sentido a consolidação e aplicação de curvas de crescimento na cunicultura tem importante relevância, para avaliar características de crescimento e índices produtivos dos animais proporcionando aumento na produção, podendo melhorar a lucratividade da atividade.

### **2.3. Deposição de nutrientes**

O crescimento animal pode ser definido como o aumento do tamanho e ganho de peso. No entanto, Demuner (2016) ressalta que essa afirmação não está totalmente correta, pois uma ave adulta, por exemplo, não deveria ganhar peso. O crescimento é observado pelo aumento da proteína corporal excluindo a deposição de gordura do ganho de peso, sendo observada esta fase na ave jovem. Entretanto, na ave adulta também ocorre deposição de gordura, mas a taxa relativa de síntese proteica é maior na ave jovem, enquanto que a taxa relativa de deposição de gordura é maior na ave mais velha. O crescimento dos diferentes tecidos ocorre inicialmente no tecido nervoso seguido do ósseo, muscular e adiposo (GONZALES & SARTORI, 2002).

Ao estudo sistemático do crescimento relativo, dá-se o nome de alometria. Ela é responsável por avaliar as mudanças na composição corporal, das partes do corpo ou dos órgãos em função do aumento no peso corporal do animal. Dessa forma, podemos assumir que as diferenças nas composições corporais obtidas de animais abatidos com sucessivos pesos corporais são equivalentes as mudanças que ocorrem na composição corporal de um animal em função do aumento da idade ou do peso (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2016).

De maneira geral, o crescimento animal pode ser descrito através de uma curva sigmóide, com uma fase de desenvolvimento exponencial inicial, uma fase intermediária ou transitória, e uma fase final da inibição do crescimento, que consiste de uma redução gradual da taxa de crescimento após um aumento assintótico no peso corporal (AGUILAR; FRIEDLI; CANAS, 1983).

Gous (2007) afirma que o crescimento é normalmente acompanhado por uma sequência ordenada de mudanças na maturação e envolve a deposição de proteína e aumento em comprimento e diâmetro, e não apenas um aumento de peso. Demuner (2016) ressalta que nas fases iniciais de crescimento corporal ocorre, majoritariamente, através do processo de aumento do número de células, enquanto que as etapas posteriores são o resultado; principalmente do aumento no tamanho da célula, embora este modifique com os diferentes tecidos e espécies.

O comportamento característico de crescimento é perfeitamente sincronizado para cada sistema, isto é, o acúmulo de tecido ósseo é mais rápido do que o do tecido muscular que, por sua vez, é mais rápido do que o do tecido adiposo, distinguindo-se por uma maior ou menor taxa específica de crescimento do animal (GONZALEZ & SARTORI, 2002). Através desta sequência, observa-se o destino final dos nutrientes no corpo do animal, sendo assim importante conhecer o peso e/ou idade em que a taxa de crescimento corporal diminui e a maior parte dos nutrientes é enviada para o tecido adiposo, devido ao aumento da demanda de gasto energético (LAWRENCE & FOWLER, 1997).

As necessidades para o crescimento variam em função da velocidade de crescimento e peso ao abate. Qualquer um dos dois fatores que seja aumentado reflete em um aumento de deposição de gordura corporal e, conseqüentemente, uma elevação das necessidades energéticas. É evidente que estas necessidades sofrem influência de uma série de fatores, como, por exemplo, as raças: animais com menor peso vivo adulto tem maiores necessidades energéticas por aumento de peso (são mais precoces na deposição de gordura).

A porcentagem de deposição de diferentes nutrientes no organismo animal pode ser influenciada por diversos fatores inerentes ao indivíduo, às condições ambientais nas quais este se encontra, e também, por fatores relacionados à nutrição (SILVA, 2012).

Dentre todas as possíveis variáveis, a nutrição parece contribuir de forma especial com as taxas de deposição dos tecidos corporais. Uma nutrição corretamente ajustada, principalmente na relação energia:proteína permite que aves, por exemplo, apresentem menor teor de gordura na carcaça (Kessler et al.,2000). Por outro lado, o teor de energia da carcaça tende a ser maior nos animais que são alimentados com dietas contendo relação energia:proteína digestível mais elevada, proporcionando maior deposição de gordura corporal e a redução da proteína da carcaça.

Segundo Leeson (1995), a quantidade de gordura depositada em qualquer dia é diretamente proporcional à quantidade de energia disponível para a síntese, portanto, dietas com excesso de energia estão diretamente correlacionadas com a deposição diária de lipídios. Por outro lado, a deposição de proteína ou de carne magra é controlada também pela genética, logo, há limite de deposição diária de proteínas, independente da ingestão (SILVA, 2012).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Local do experimento**

Foram utilizados 274 coelhos com peso inicial médio de  $0,052 \pm 0,009$  kg, oriundos de 40 matrizes. Os procedimentos realizados no estudo foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal da Paraíba (Nº 49/2016).

Os animais foram criados no Laboratório de Cunicultura do Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias pertencente a Universidade Federal da Paraíba, localizada no município de Bananeiras, Estado da Paraíba. O município de Bananeiras está localizado na microrregião do Brejo Paraibano. A altitude local é de 552m, situando-se entre as coordenadas geográficas  $6^{\circ}41'11''$  de latitude sul e  $35^{\circ}37'41''$  de longitude, a oeste de Greenwich, com clima quente e úmido. A temperatura da região varia entre a máxima de  $36^{\circ}\text{C}$  e a mínima de  $18^{\circ}\text{C}$  com precipitação média anual de 1.300 mm (IBGE, 2013). A temperatura interna média no interior do galpão durante o período experimental foi de  $25^{\circ}\text{C}$ .

#### **3.2. Manejo experimental**

Os coelhos foram mantidos em regime confinado em gaiolas de metal (80x60cm) e receberam água e ração à vontade. A dieta fornecida (Tabela 1) foi formulada para atender as exigências nutricionais dos animais nas fases de crescimento e reprodução (dieta mista) seguindo as recomendações de De Blas e Wiseman (2010). O controle de pesos foi realizado a cada sete dias.



**Tabela 1** - Composição química e percentual da dieta fornecida aos coelhos durante o período experimental

<b>Ingredientes</b>	<b>(kg)</b>
Feno tifton	28,80
Farelo de trigo	28,50
Farelo de soja (45%)	17,20
Milho moído	16,00
Óleo de soja	3,60
Fosfato de bicálcico	1,70
Inerte	1,56
Calcário	1,07
Premix-APP <sup>1</sup>	0,50
Sal Comum	0,47
L-Treonina	0,33
DL-Metionina	0,14
L-Lisina HCL	0,10
BHT	0,02
<b>Total</b>	<b>100,00</b>
<b>Valores calculados</b>	
Energia, Mcal/kg	2,47
Proteína Bruta, %	16,10
Met.+Cistina Total, %	0,61
Treonina Total, %	0,82
Amido, %	20,78
FDA, %	16,11
Cálcio, %	1,03
Fósforo total, %	0,76
Cloro, %	0,30
Sódio, %	0,22

<sup>1</sup>Suplemento mineral e vitamínico: Composição por kg do produto – Vit A, 600.000 UI; Vit D, 100.000 UI; Vit E, 8000 mg; Vit K3, 200 mg; Vit B1, 400 mg; Vit B2, 600 mg; Vit B6, 200 mg; Vit B12, 2000 mg; Ac. Pantotênico, 2000 mg; Colina, 70.000 mg; Fe, 8000 mg; Cu, 1200 mg; Co, 200 mg; Mn, 8600 mg; Zn, 12.000 mg; I, 64 mg; Se, 16 mg; Antioxidante 20.000 mg.

### 3.3. Composição química dos animais

Os animais abatidos no decorrer do ensaio, foram utilizados para determinação da composição química corporal. Para as análises utilizaram-se amostras compostas de aproximadamente 250 g, que foram acondicionadas em sacolas plásticas e posteriormente liofilizadas à -57°C. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho refrigerado e foram acondicionadas em recipientes plásticos e guardadas em refrigerador. Posteriormente, foram realizadas análises de matéria seca, através da secagem das amostras em estufa de ventilação forçada a 105°C, proteína bruta utilizando o método Kjeldahl, extração lipídica pelo método de extração à frio de Folch et al. (1957) e matéria mineral, que foram determinadas após a incineração das amostras em forno mufla a 600°C durante 4 horas, conforme descrita por Silva e Queiroz (2002).

Para a obtenção da solução de cinzas para a determinação de cálcio e fósforo, as amostras foram submetidas a uma digestão nitro-perclórica durante quatro horas. O fósforo foi determinado seguindo a metodologia descrita por Rangana (1979) e o cálcio foi determinado em espectrômetro de absorção atômica iCE 3000 series (Thermo Scientific, Cambridge, Inglaterra) e foi quantificado por meio de uma curva padrão com teores de cálcio variando de 5 a 30 mg/L.

### 3.4. Modelos matemáticos aplicados

A partir das fichas de produção e reprodução foi editado um arquivo contendo o número do animal, número da mãe, data de nascimento, data de parto, peso ao nascimento e os pesos observados a cada sete dias desde o nascimento.

Quatro modelos matemáticos foram utilizados para verificar o que melhor descreve a curva de crescimento média do rebanho, as curvas individuais e deposição dos nutrientes:

**Exponencial Polinomial Quadrático:**  $Y_t = A + B t + C t^2 + \varepsilon$ , em que:  $Y_t$  = peso observado no tempo  $t$ ;  $t$  = tempo (idade do animal, em dias, a partir do nascimento);  $A$ ,  $B$  e  $C$  = parâmetros característicos do modelo;  $\varepsilon$  = erro aleatório;

**Quadrático Logarítmico:**  $Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 \ln t + \varepsilon$ , em que:  $Y_t$  = peso observado no tempo  $t$ ;  $t$  = tempo (idade do animal em dias, a partir do nascimento);  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  = parâmetros característicos da curva;  $\varepsilon$  = erro aleatório;

**Gompertz:**  $Y = Ae^{-Be^{-kt}} + \varepsilon$

**Logístico:**  $Y = A(1 + Be^{-kt})^{-1} + \varepsilon$

Para os modelos de Gompertz e Logístico, Y é o peso corporal à idade t; A, o peso assintótico quando t tende a mais infinito, ou seja, este parâmetro é interpretado como peso à idade adulta; B, uma constante de integração, relacionada aos pesos iniciais do animal e sem interpretação biológica bem definida. O valor de B é estabelecido pelos valores iniciais de Y e t; K é interpretado como taxa de maturação, que deve ser entendida como a mudança de peso em relação ao peso à maturidade, ou seja, como indicador da velocidade com que o animal se aproxima do seu tamanho adulto.

Os parâmetros dos modelos foram estimados pelo método modificado de Gauss Newton por meio do procedimento NLIN do SAS (2012). No caso dos modelos não lineares, foi usado um processo iterativo para obtenção das estimativas dos parâmetros, o qual iniciou com valores iniciais, atribuídos aos próprios parâmetros a serem estimados, calculando-se a soma de quadrado do erro obtendo a cada passo um conjunto de estimativas atualizadas até o procedimento convergir para um vetor final de estimativas, obtendo-se a soma mínima de quadrados do erro (SARMENTO et al., 2006).

### 3.5. Critérios adotados para a escolha do modelo

Os critérios utilizados para selecionar o modelo que melhor descreveu a curva de crescimento estão descritos a seguir:

**Quadrado Médio do Resíduo (QMR):** calculado dividindo-se a soma de quadrados do resíduo, pelo número de observações, que é o estimador de máxima verossimilhança da variância residual, para que se possa comparar o QMR dos diferentes modelos, visto possuírem números diferentes de parâmetros a serem estimados;

**Coefficiente de determinação ( $R^2$ ):** calculado como o quadrado da correlação entre os pesos observados e estimados, que é equivalente, de acordo com Souza (1998) a:

$$R^2 = 1 - \frac{SQR}{SQT_c}$$

Em que SQR é soma de quadrados do resíduo e SQTC, a soma de quadrados total corrigida pela média;

**Desvio médio absoluto dos resíduos (DMA):** proposto por Sarmento et al. (2006) para avaliar a qualidade de ajuste, calculado da seguinte maneira:

$$DMA = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n}$$

Em que  $Y_i$  é o valor observado,  $\hat{Y}_i$ , o valor estimado e  $n$  o tamanho da amostra. Quanto menor o valor do DMA, melhor o ajuste.

**Gráfico de distribuição dos resíduos:** foi utilizado um gráfico de distribuição dos resíduos para mostrar a qualidade do ajuste proporcionado para cada função.

### 3.6. Taxa de crescimento absoluto

Selecionado o modelo, foi calculada a taxa de crescimento absoluta (TCA), obtida a partir da primeira derivada do modelo ajustado, em relação ao tempo ( $\theta Y/\theta t$ ). De acordo com os estudos de (SARMENTO et al., 2006) a TCA é, o ganho de peso obtido por unidade de tempo. Quando a unidade de tempo está em dias, representa o ganho de peso médio diário, estimado ao longo da trajetória de crescimento, ou seja, a taxa média de crescimento dos animais dentro da população.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Estimativas obtidas pela aplicação dos modelos**

Na Tabela 2 são apresentadas as estimativas dos parâmetros A, B e K dos modelos testados, onde verifica-se que os modelos de Gompertz e Logístico apresentaram estimativas mais coerentes com o comportamento biológico natural para a estimativa de peso assintótico. Para se chegar a melhores conclusões foram adotados critérios para atestar a qualidade do ajuste e escolha do modelo que ofereceu melhor ajuste. Ainda na Tabela 2, podem ser observados os critérios adotados para a escolha do modelo que melhor se ajustou aos dados (QMR, DMA e  $R^2$ ), obtidos para os modelos de Gompertz, Logístico, Exponencial Polinomial Quadrático e Quadrático logarítmico.

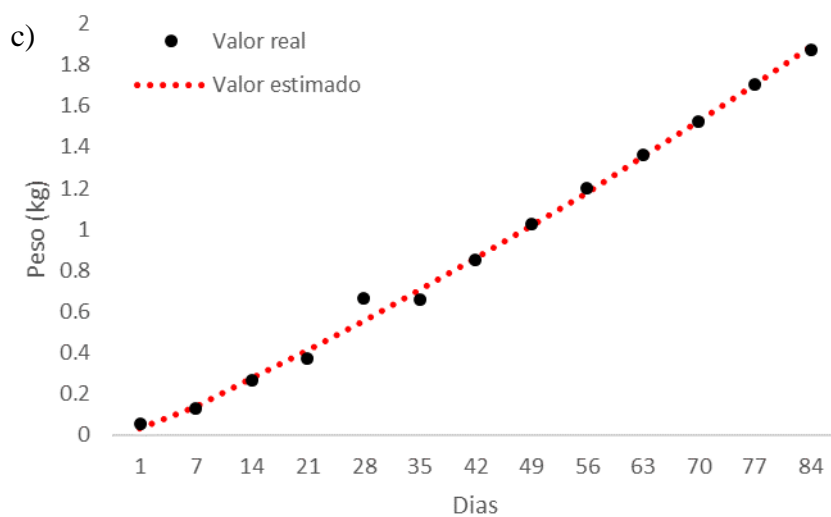
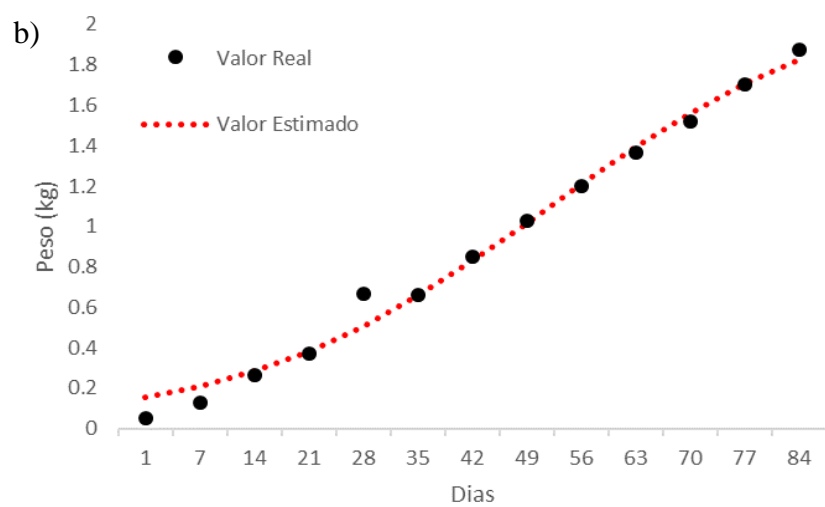
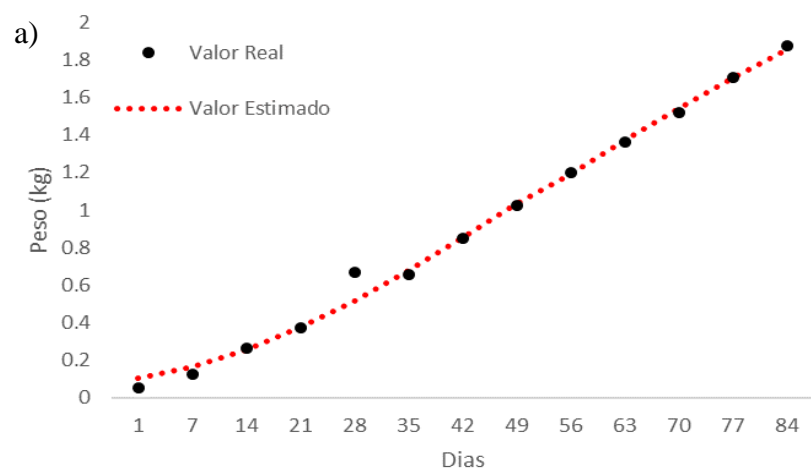
Os coeficientes de determinação foram pouco efetivos para indicar um modelo específico como o melhor modelo para ajuste dos dados, uma vez que os valores encontrados foram semelhantes, porém, foram de grande importância para a estimativa da curva média. É importante ressaltar ainda que, todos os modelos testados apresentaram bons ajustes das curvas de crescimento, apresentando coeficientes de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,95. Um modelo com um  $R^2$  de 0,95 pode indicar áreas na curva em que os dados estimados não são próximos aos dados observados (SAMPAIO et al., 2004). Sendo assim, a obtenção de coeficientes de 0,97 nesse estudo apresenta-se dentro de um limite de valores adequados para os modelos testados. Os valores de quadrados médios dos resíduos, juntamente com o desvio médio absoluto foram os critérios que mais influenciaram na escolha, apontando o modelo de Gompertz como o modelo que ofereceu o melhor ajuste para os dados de ganho de peso.

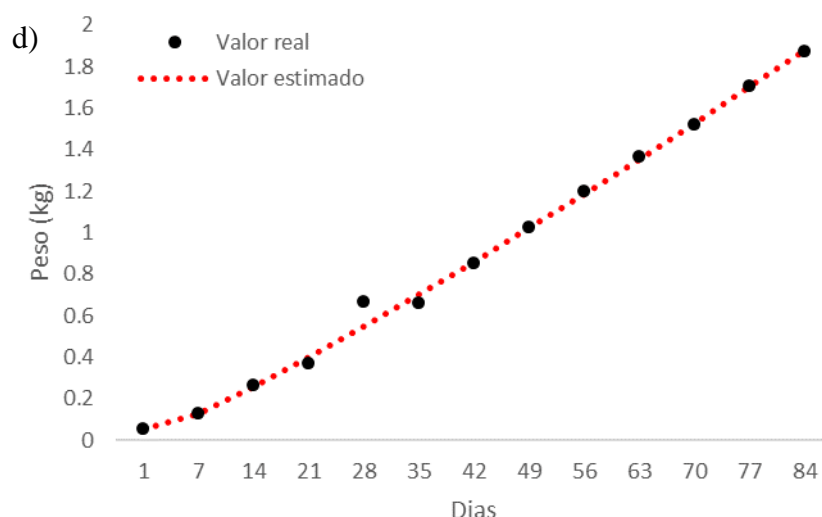
**Tabela 2.** Estimativas dos parâmetros, quadrado médio do resíduo (QMR), desvio médio absoluto dos resíduos (DMA) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de acordo com os modelos estudados

Modelos	Parâmetros	Valor Estimado	QMR	DMA	$R^2$
Gompertz	A	2,9108	0,0421	0,0031	0,97
	B	3,4192			
	K	0,0244			
Logístico	A	2,1791	0,0434	0,0034	0,97
	B	13,5932			
	K	0,0505			
Exp. Pol. Quadrático	A	0,0114	0,0418	0,0034	0,97
	B	0,0180			
	K	0,0000			
Quad. Logarítmico	B <sub>0</sub>	0,0331	0,0418	0,0046	0,97
	B <sub>1</sub>	0,0208			
	B <sub>2</sub>	0,0000			
	B <sub>3</sub>	-0,0276			

#### 4.2. Curva de crescimento

Os gráficos a seguir mostram a curva de ganho de peso observados e estimados em função da idade dos animais. No gráfico (a) da Figura 1 são apresentados os valores observados e estimados pela função de Gompertz, onde pode-se observar que houve uma superestimação do peso inicial em 0,050 kg, uma vez que o peso médio observado foi de 0,053 kg e o estimado 0,103 kg. O modelo de Gompertz superestimou os ganhos de pesos iniciais até o sétimo dia de idade e a partir daí verificou-se boa correspondência entre o peso observado e o peso estimado, concordando com Sampaio et al (2004) que afirmam que este modelo superestima, de fato, o peso ao nascimento para coelhos. Mas segundo estes mesmos autores, apesar desse comportamento em relação aos pesos iniciais, tanto o modelo de Gompertz quanto o Von Bertalanffy têm sido utilizados para descrever o crescimento de coelhos pois, parecem prever com bastante eficiência o peso a partir do sétimo dia de idade, corroborando com o presente estudo.





**Figura 1.** Curvas de crescimento estimado e observado pelos modelos de Gompertz (a), Logístico (b), Exponencial polinomial quadrático (c) e Quadrático logarítmico (d).

O gráfico (b) da Figura 1 apresenta os valores observados e estimados pela função Logística. Verifica-se, novamente, que houve superestimação dos pesos iniciais, onde o valor observado foi de 0,052 kg e o estimado pelo modelo 0,156 kg. A curva de crescimento estimada pelo modelo Logístico apresentou comportamento semelhante a curva estimada pelo modelo de Gompertz, superestimando os valores de ganho de peso até o sétimo dia de idade e a partir daí apresentando valores bem próximos aos observados. É importante ressaltar que, tanto a curva (a) quanto a curva (b), apresentaram um padrão ligeiramente sigmoidal, modelada pela constante de integração B, em que apresenta aceleração da taxa de crescimento até a puberdade e diminuição gradativa até a maturidade.

Freitas (2007), avaliando as curvas de crescimento de coelhos machos da raça Nova Zelândia Branca, pesados semanalmente do nascimento aos 70 dias de idade, relataram que dentre vários modelos testados, apenas os modelos Logístico e o modelo de Von Bertalanffy foram adequados para estimar os ganhos de pesos.

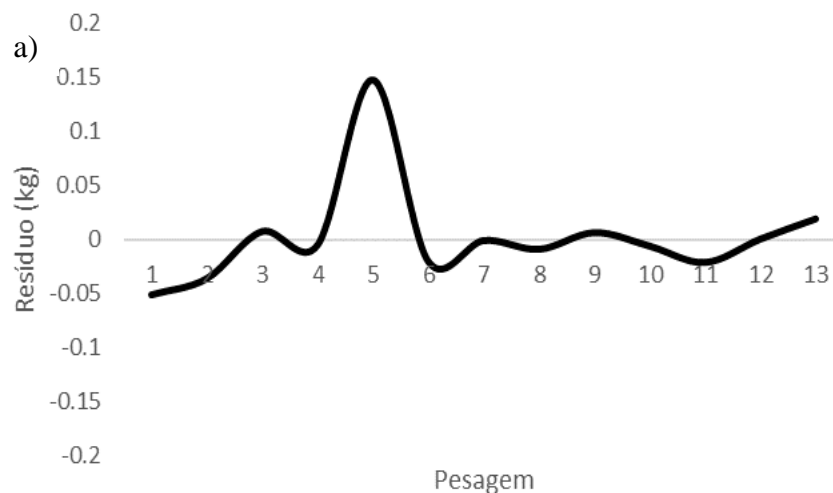
No gráfico (c) pode-se observar os valores reais observados e estimados pela função Exponencial polinomial quadrática. Verifica-se que, ao contrário das curvas estimadas pelas equações de Gompertz e Logística, a curva estimada pela função Exponencial subestimou o peso ao nascimento dos coelhos em 0,023kg. Verifica-se ainda, que houve superestimação dos valores obtidos nos dias 21 e 35 em 0,41 e 0,45 kg

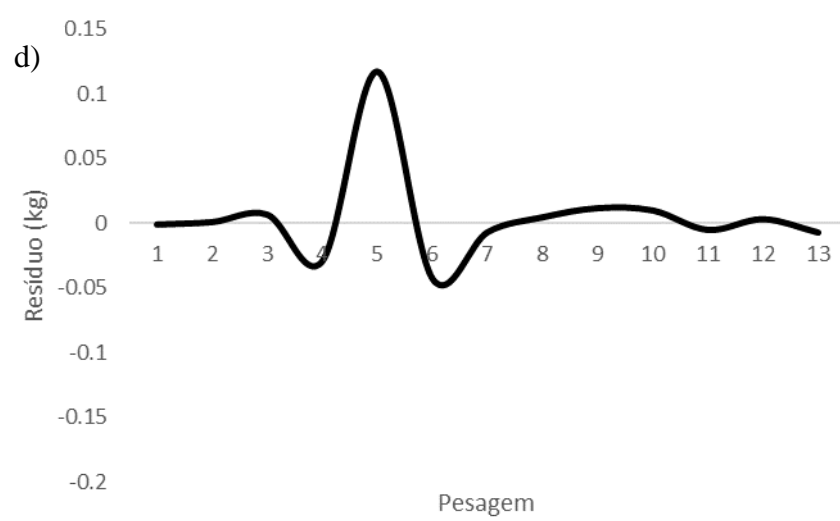
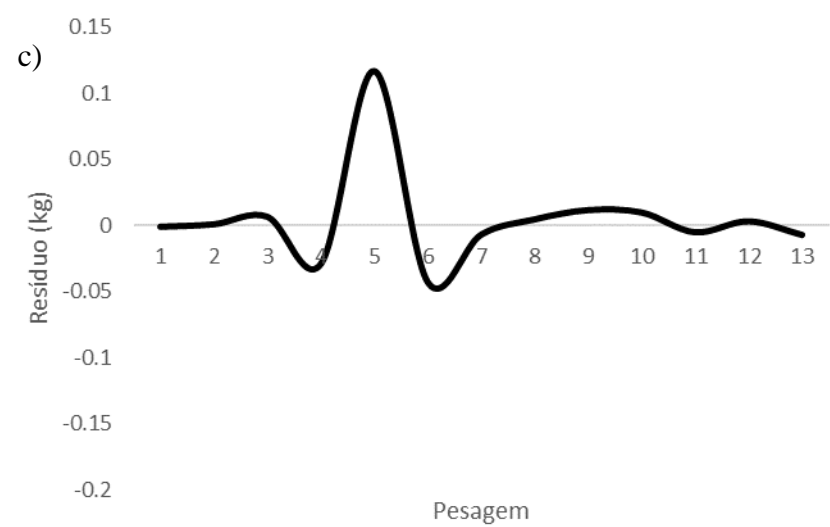
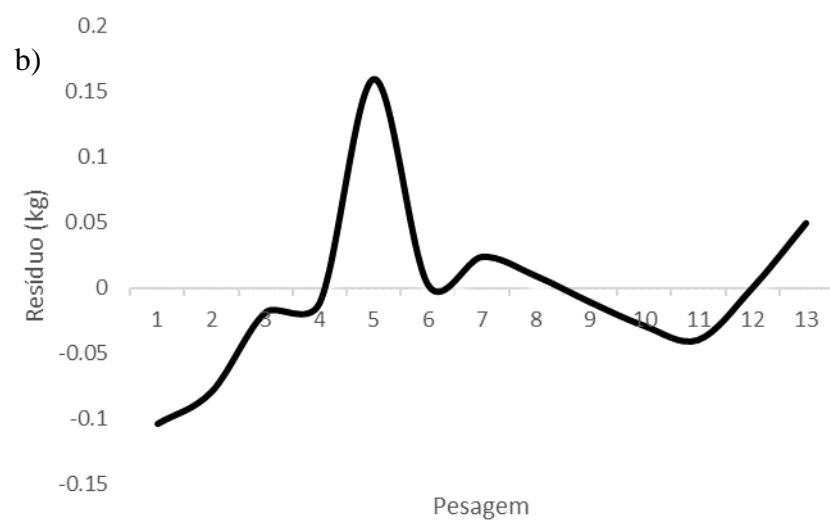


respectivamente. Apesar de tal comportamento, a curva obtida pela equação apresentou valores bem próximos aos observados durante o período experimental, resultando em valores residuais muito baixos.

No gráfico (d) verifica-se a curva real observada e estimada obtida pela equação Quadrática logarítmica. Pode-se notar semelhança entre as curvas obtidas por esta equação e a obtida pela equação Exponencial polinomial quadrática, onde mais uma vez observa-se uma leve subestimação do peso ao nascimento e superestimação aos dias 21 (0,40 kg) e 35 (0,70 kg).

É importante notar que todos os modelos aplicados neste estudo subestimaram o peso dos coelhos ao 28º dia de idade, apresentando altos valores residuais. É possível que tal comportamento tenha ocorrido devido a uma alta variabilidade dos dados obtidos nesse período. Essa variabilidade teria sua origem no estresse ao qual os animais são submetidos nessa fase devido a mudança radical da dieta líquida (a base do leite materno) para a dieta sólida, tendo como principais componentes os concentrados (milho e soja). Isso se torna mais evidente quando se analisa os gráficos de dispersão dos resíduos, onde é constatado um alto valor residual aos 28 dias de idade para todas as equações testadas.





**Figura 2.** Gráficos de dispersão dos resíduos conforme os modelos de Gompertz (a) e Logístico (b), Exponencial polinomial quadrático (c) e Quadrático logarítmico (d).

Os gráficos de dispersão dos resíduos em função do tempo  $t$  (Figura 2) demonstram a qualidade do ajuste proporcionado por cada modelo avaliado. Caso o resíduo apresente-se distribuído aleatoriamente em relação à variável independente  $t$  é indicativo de que o ajuste foi adequado. Entretanto, se este se apresentar em blocos de valores positivos ou negativos é indicativo de auto correlação residual positiva ou negativa, o que indica que o ajuste foi inadequado. Diante disso, constatou-se através dos resíduos obtidos que os modelos Exponencial Polinomial Quadrático e Quadrático Logarítmico foram os que apresentaram melhores dispersões dos resíduos dos pesos ao longo do tempo quando comparada com o gráfico associado aos modelos de Gompertz e Logístico, evidenciando assim a boa qualidade no ajuste das funções.

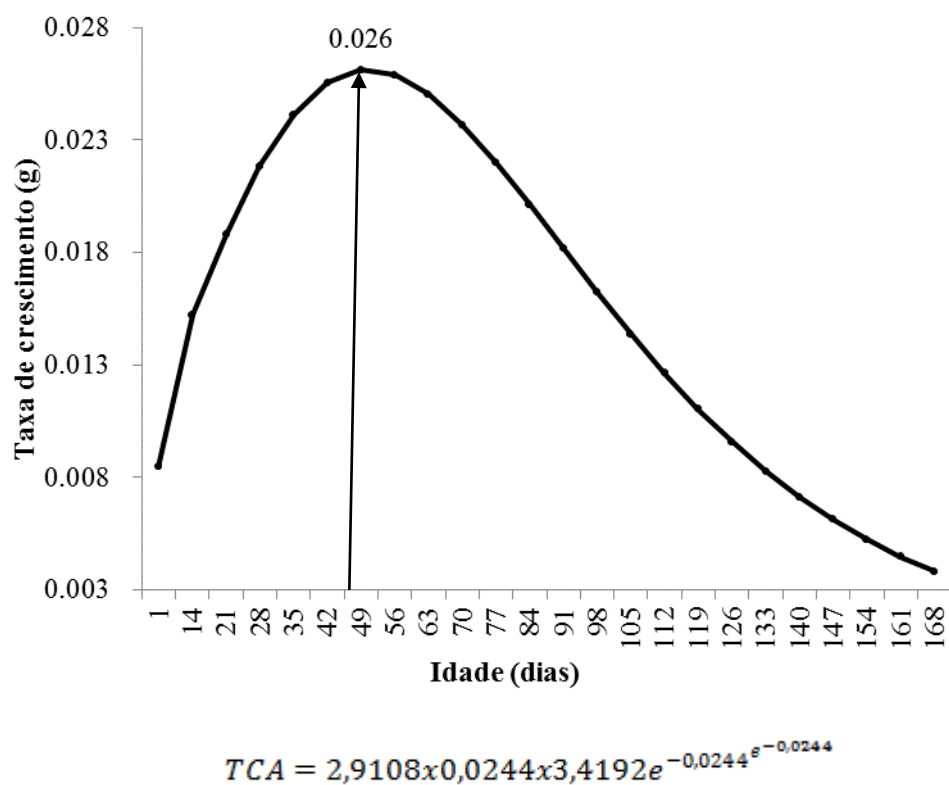
Segundo Cruz (2009), critérios tomados isoladamente não são bons indicadores da qualidade de ajuste das curvas, pois não permitem visualizar diferenças que poderiam ser facilmente percebidas com o apoio de dois ou mais critérios combinados, à exemplo dos coeficientes de determinação, gráficos de dispersão, quadrados médios absolutos e desvios médios absolutos, contribuindo, assim, em decisões sobre a qualidade de ajuste proporcionada por um modelo.

#### **4.3. Taxa de crescimento absoluto**

Após assumir que a função de Gompertz ofereceu melhor ajuste aos dados com base nas estimativas de peso assintótico, foi determinada a taxa de crescimento absoluto (Figura 3) onde, verifica-se que o ponto de inflexão da curva foi atingido aos 49 dias de idade e peso de, aproximadamente 1,0255 kg, com ganho de peso diário de 0,026 kg. Segundo Thornley e France (2007) o ponto de inflexão (PI) é um importante indicativo econômico, pois o crescimento animal segue um padrão sigmoidal, com aceleração da taxa de crescimento até certo ponto, no qual ocorre uma desaceleração mudando o formato da curva. Portanto, o dia no qual a taxa de crescimento é máxima pode ser utilizado como base para a previsão do melhor momento para a realização do abate, sendo que este ponto varia de acordo com os valores dos parâmetros em cada modelo de crescimento utilizado (DEMUNER, 2016). No entanto, no presente estudo a taxa

máxima de crescimento foi alcançada precocemente, antes dos 80 dias, idade em que os coelhos, em geral, atingem o peso comercial de abate.

Verifica-se ainda que, as taxas no final do período estudado foram muito baixas, evidenciando que, em torno dos 154 dias de idade, os animais praticamente não ganharam peso, apresentando taxas de aproximadamente 5 gramas. A escassez de resultados na literatura, com taxas de crescimento absoluta estimadas para coelhos, dificulta a comparação entre os resultados obtidos no presente estudo, havendo, pois, a necessidade de mais pesquisas relacionadas as curvas de crescimento e TCA's para coelhos da raça Nova Zelândia Branca, uma vez que essa informação é importante para a formulação de programas alimentares mais eficientes, programas reprodutivos e na definição da idade ótima de abate.



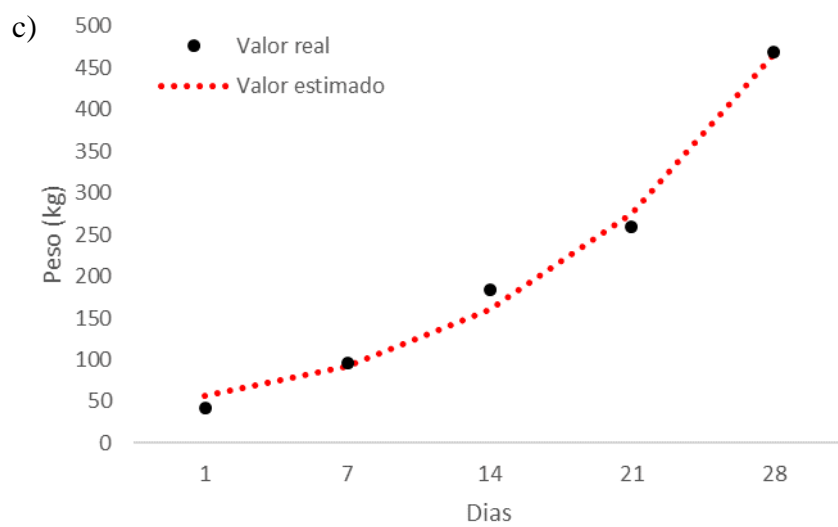
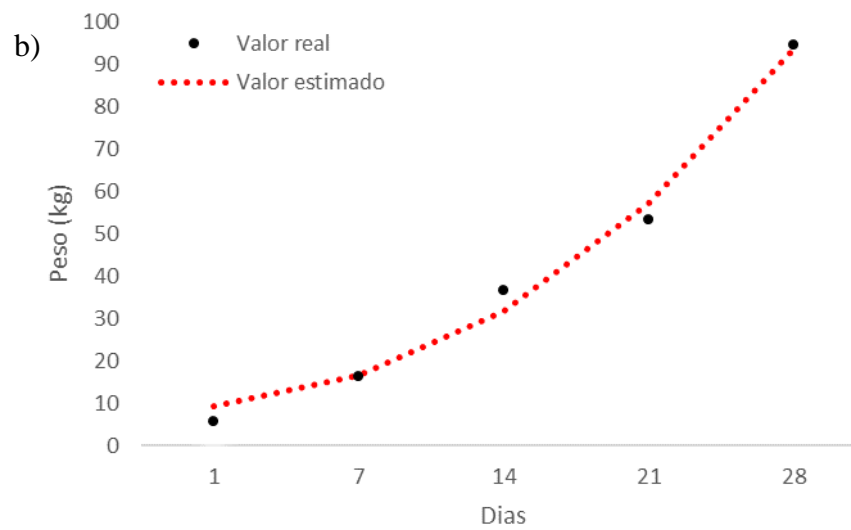
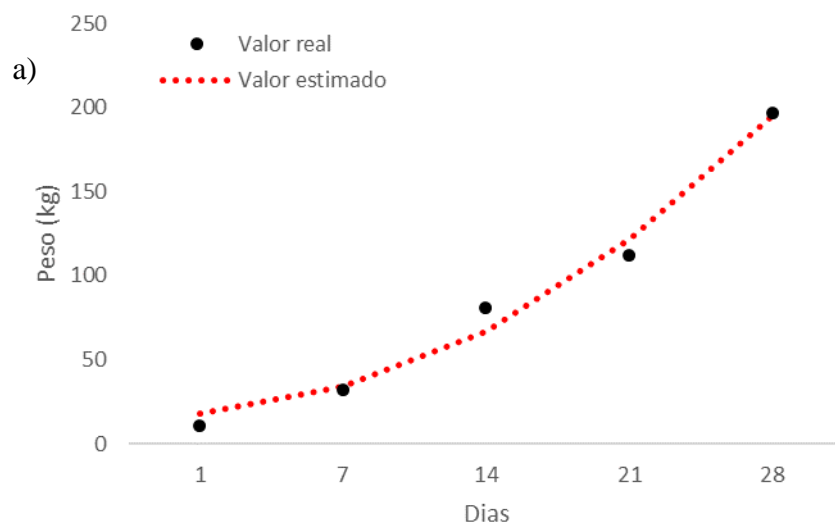
**Figura 3** - Taxa de crescimento absoluto (TCA) de coelhos da Raça Nova Zelândia Branca obtido pelo modelo de Gompertz.

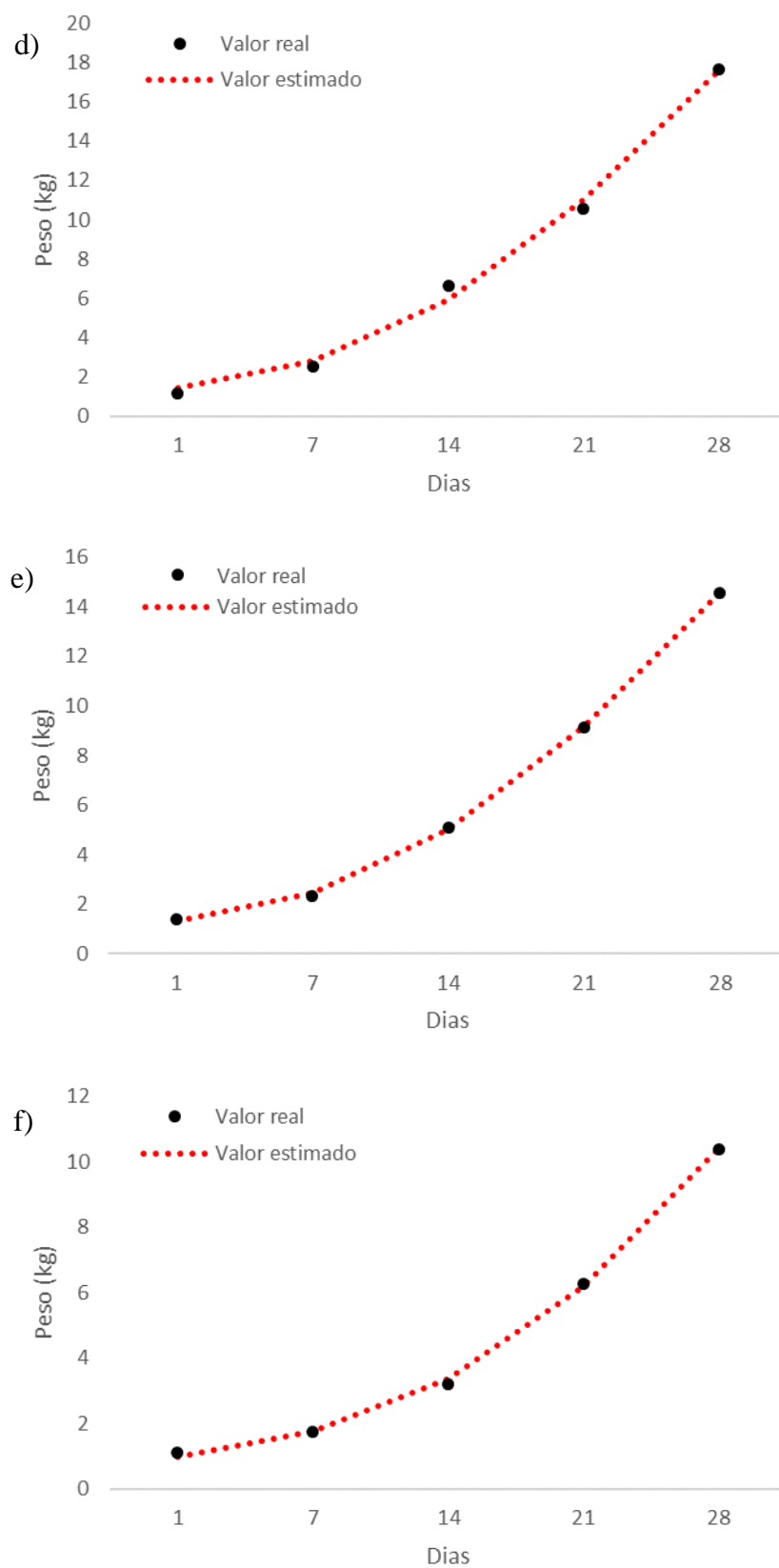
#### 4.4. Composição e deposição de nutrientes até os 28 dias de idade

Na Tabela 3 são apresentadas as estimativas dos parâmetros A, B e K para a matéria seca, umidade, proteínas, cinzas, cálcio e fósforo estimadas pelo modelo Logístico para coelhos. A escassez de dados científicos referentes a composição corporal e deposição de nutrientes em coelhos ainda é grande, o que dificulta a comparação dos resultados obtidos neste estudo. Para matéria seca, proteína e cinzas as estimativas referentes ao peso assintótico foram 398,6g, 236,4g, 31,30g respectivamente, ou seja, esses valores se referem a quantidade desses nutrientes no corpo inteiro dos animais quando estes atingirem a idade adulta.

**Tabela 3.** Estimativas dos parâmetros e erros-padrão para composição corporal estimadas pelo modelo Logístico.

Variável	Estimativas dos parâmetros		Erro-padrão
Matéria seca (g)	A	398,6	92,0155
	B	23,4487	3,8553
	K	0,1110	0,0111
Umidade (g)	A	5708,4	14798,6
	B	106,5	270,4
	K	0,0803	0,0103
Proteína (g)	A	236,4	78,1217
	B	27,5263	7,1287
	K	0,1033	0,0108
Cinzas (g)	A	31,3039	5,2281
	B	23,6645	2,6889
	K	0,1218	0,0112
Ca (g)	A	27,6948	5,2540
	B	22,8056	2,9831
	K	0,1154	0,0108
P (g)	A	31,6565	13,6090
	B	34,3425	12,2106
	K	0,1007	0,0106





**Figura 4.** Curvas de deposição de matéria seca (a), proteína (b), umidade (c), cinzas (d), cálcio (e) e fósforo (f) observadas e estimadas pelo modelo Logístico.

A Figura 4 apresenta as curvas de deposição dos nutrientes observadas e estimadas pelo modelo Logístico. A escolha do modelo para estimar os parâmetros A, B, K e as curvas se deve ao seu melhor ajuste apresentado aos dados de composição corporal. Pode-se observar que para matéria seca (a), proteína (b), umidade (c) e cinzas (d) o comportamento observado foi semelhante, com superestimação dos valores ao nascimento e subestimação dos valores aos 28 dias de idade. Nota-se ainda que todas as curvas dos nutrientes avaliados seguiram o mesmo padrão ascendente até os 28 dias de idade. Observa-se ainda, uma leve flutuação nos valores reais observados aos 14 dias de idade para esses nutrientes. Esse comportamento pode estar relacionado ao fato de que a partir dos 14 dias de idade os láparos tendem a sair dos ninhos, que servem de proteção até que sejam totalmente desmamados, em torno dos 30 dias de idade. É comum que nesse período eles passem a se alimentar da ração que é ofertada às matrizes, passando a nutrir-se, tanto do leite materno quanto da dieta balanceada, interferindo assim na deposição dos nutrientes.

No presente trabalho a relação de deposição de água e proteína foi de 4,96 g de água por cada grama de proteína bruta depositada nos láparos aos 28 dias de idade, a partir do modelo. Segundo Leeson (1995) existe uma correlação diretamente proporcional entre a deposição de água e proteína, uma vez que cada grama de proteína está associada a quatro gramas de água. Na prática isso significa que quanto menor for a deposição de proteína menor será o ganho de peso.

Nos gráficos (e) e (f) da Figura 4, podem ser observadas as curvas relativas ao cálcio e ao fósforo. Nota-se comportamento crescente semelhante entre as mesmas, apresentando elevada velocidade de crescimento a partir do sétimo dia de idade. Embora a composição corporal tenha sido obtida até aos 28 dias de idade neste estudo, alguns autores afirmam que, animais mais jovens são mais ricos em água e mais pobres em gordura, em que as concentrações de água, proteína e minerais decrescem com a idade e com a engorda (BERG & BUTTERFIELD, 1976; DI MARCO, 1994; VERDE, 1996).



## **5. CONCLUSÕES**

Qualquer um dos modelos testados neste estudo poderá ser utilizado para estimar a curva média de crescimento para coelhos da raça Nova Zelândia Branca. Para a estimativa de peso assintótico o modelo de Gompertz apresentou melhores estimativas. Já para as estimativas de deposição e composição corporal juntamente com a determinação das curvas de deposição até os 28 dias de idade o modelo Logístico foi o mais adequado.

## 6. REFERÊNCIAS

- AGUILAR, C.; FRIEDLI, C.; CANAS, R. The growth curve of animals. *Agricultural Systems*, Amsterdam, v. 10, p. 133–147, 1983.
- ALMEIDA, D. G.; SACCO, S. R., Estudo da Viabilidade Técnica e Econômica para Implantação da Cunicultura em Pequena Propriedade Rural. **Revista Perspectiva em Gestão, Educação & Tecnologia**, v.1, n.1, p. 1-9, jan-jun. 2012.
- AMÂNCIO, A. L. L. **Características de Crescimento e Composição Corporal da Tilápia Nilótica** (*Oreochromis niloticus*) LINHAGEM GIFT. 2011. 91 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2011. Disponível em: <[http://www.cca.ufpb.br/ppgz/www/files/teses2011/Tese\\_-\\_Caractersticas\\_de\\_crescimento\\_e\\_composio\\_corporal\\_da\\_Tilpia\\_Niltica\\_Oreochromis\\_niloticus\\_Linhagem\\_Gift\\_-\\_Al.pdf](http://www.cca.ufpb.br/ppgz/www/files/teses2011/Tese_-_Caractersticas_de_crescimento_e_composio_corporal_da_Tilpia_Niltica_Oreochromis_niloticus_Linhagem_Gift_-_Al.pdf)>. Acesso em: 08 ago. 2017.
- BERG, R. T.; BUTTERFIELD, R. M. **New concepts of cattle growth**. New York: Sydney University. 240 p. 1976.
- BLASCO, A. *et al.* A Bayesian analysis of the effect of selection for growth rate on growth curves in rabbits. **Genet. Sel. Evol.** vol.35, p.21–41, 2003.
- BOVERA, F. *et al.* **Feed restriction during Summer: Effect on rabbit carcass traits and meat quality**. In: Proceedings of the 9th WORLD RABBIT CONGRESS, Verona, p.1325-1330, 2008.
- BROWN, J. E. *et al.* A comparison of nonlinear models for describing weight- age relationships in cattle. **Journal of Animal Science**. v. 42, p.810-818, 1976.
- CRUZ, G.R.B. *et al.* Curva de crescimento de caprinos mestiços no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.4, n.2, p.204-210, 2009.
- DE BLAS, C.; WISEMAN, J. **Nutrition of the Rabbit**. 2nd ed. Cambridge: CAB International, 325p, 2010.
- DEMUNER, L. F. **Ajustes de curvas de crescimento e deposição de nutrientes em linhagens de frangos de corte com análise econômica**. 2016. 141 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em zootecnia – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2016.
- DI MARCO, O. N. **Crecimiento y respuesta animal**. Balcarce: Asociación Argentina de Producción Animal, 1994. 129 p.
- ECHEVERRI, A. M. L. **Uso de modelos não lineares para descrever o crescimento do perímetro escrotal em touros da raça guzerá criados em pastoreio extensivo**. 2010. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Animal, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/SSLA-87KK5U>>. Acesso em: 06 ago. 2017.

ENSER, M. *et al.* Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. **Meat Science**, v.4, p.443-456, 1996.

FOLCH, J. *et al.* A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **Journal of Biological Chemistry**, v. 226, n.1, p. 497-509. 1957.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Faostat – Production: livestock primary: rabbit meat. 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/>>. Acesso em: 10 de jan. 2018.

FORNI, S. *et al.* Analysis of beef cattle longitudinal data applying a nonlinear model. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 85, n. 12, p. 3189-3197, 2007.

FREITAS, A. R. *et al.* **Modelos de curvas de crescimento em frangos de corte**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 19, n. 9, p. 1057-1064, set. 1984.

FREITAS, A. R. Curvas de crescimento na produção animal. **Rev. Bras. Zootec.** v.34, n.3, p.786-795, 2005.

FREITAS, A. R. **Estimativas de curvas de crescimento na produção animal**. 2007. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste. – (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 68). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPPSE/17106/1/Documentos68.pdf>. Acesso em: 13 de Jul de 2017

FREITAS, B. M.; *et al.* **Modelagem do crescimento de coelhos**. 2014. Disponível em: <<https://ocs.araquari.ifc.edu.br/index.php/micti/micti2014/paper/viewFile/371/128>>. Acesso em: 08 ago. 2017.

GAMITO, S. **Growth models and their use in ecological modelling: an application to a fish population**. Ecological Modelling, [S.l.], v. 133, n. 1/3, p. 83-94, 1998.

GÓMEZ, E., BLASCO, A., **Growth curves of lines selected on growth rate or litter size**, in: Proceedings of the 5th World Rabbit Congress, Oregon State Univ., Corvallis, Vol. B, 1992, pp. 872-878.

GONZALES, E.; SARTORI, J. S. **Crescimento e metabolismo muscular**. In: MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. (Eds.). Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 2002. p. 279-298.

GOUS, R. M. Methodologies for modelling energy and amino acid responses in poultry. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, p. 263-274, 2007.

HERNÁNDEZ, P. *et al.* Relationships between meat quality measurements in rabbits fed with three diets of different fat type and content. **Meat Science**, v. 55, n. 4, p. 379-384, 2000.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário**. 2011. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?z=t&o.=21&i=P>> Acesso em 6 de

junho de 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Enciclopédia dos Municípios Brasileiros**. Instituto de Geografia e Estatística, João Pessoa/PB, v.17, 2013.

KESSLER, A. M. *et al.* Manipulação da qualidade de gordura na carcaça de frangos. In: Conferencia Apinco de Ciência e Tecnologia Avícola, 2000, Campinas. **Anais...** Campina:APINCO, p.107-133, 2000.

LAWRENCE, T. L. J.; FOWLER, V. R. **Growth of farma animals**. New York: CAB, 1997. 330 p.

LEESON, S. Nutrição e qualidade da carcaça de frangos de corte. In: Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícola, 1995, Curitiba. **Anais...** Curitiba:APINCO, p.111-118, 1995.

MACEDO, L. R. *et al.* Modelagem hierárquica bayesiana na avaliação de curvas de crescimento de suínos genotipados para o gene halotano. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 10, p.1853-1859, out. 2014.

MANSOUR, H. *et al.* Analysis of covariance structure of repeated measurements in holstein conformation traits. **Journal of Dairy Science**, vol.74, n.8, p.2757-2766, 1991.

MARCATO, S. M. **Características do crescimento corporal, dos órgãos e tecidos de duas linhagens comerciais de frangos de corte**. 2007. 183 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, SP. 2007.

MENDES, P. N. *et al.* Análise da curva de crescimento difásica de fêmeas hereford por meio da função não linear de gompertz. **Ciência Animal Brasileira**, Lavras, v. 2, n. 10, p.454-461, jun. 2009.

NELDER, J. A. **The fitting of a generalization of the logistic curve**. Biometrics, v. 17, p. 89-110, 1961.

OLIVEIRA, H. N. **Análise genético-quantitativo da curva do crescimento de fêmeas da raça Guzerá**. 1995. 73 f. Tese (Doutorado em Ciências). Faculdade de Medicina veterinária USP. Ribeirão Preto, SP. 1995.

ORHERUATA, A. M. *et al.* Modeling the growth of rabbits raised in humid climate for improved breeding. **African Journal of Agricultural Research**. vol.5(22), p. 3126-3129. 2010.

PIMENTEL, F. E. *et al.* Peso médio de coelhos puros Nova Zelândia Branco. VII Semana de Ciência e Tecnologia IFMG - campus Bambuí. VII Jornada Científica e I Mostra de Extensão. 2014.

RANGANA, S. **Manual of analysis of fruit and vegetable products**. Tata: McGraw Hill, 1979.

ROCHA-SILVA, M. *et al.* Curva de crescimento de codornas de corte por meio de modelos de regressão não-lineares. **Archives Of Veterinary Science**, Paraná, v. 21, n. 04, p.00-26, 19 dez. 2016.

SAKOMURA, N. K. ROSTAGNO, H. S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. 2ed. Jaboticabal: Funep, 262 p. 2016.

SAMPAIO, I.B.M. *et al.* **Selecting high performance rabbits at early ages through an stochastic approach.** In Proc.: 8th Congress of the World Rabbit Science. Pruebla City. Mexico, Sept: pp. 158-162, 2004.

SAMPAIO, I.B.M. *et al.* The use of a stochastic model of rabbit growth for culling. **World Rabbit Sci.** vol. 13, p. 107 – 112, 2005.

SARMENTO, J. L. R. *et al.* Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. **Rev. Bras. Zoot.**, v. 35, n. 2, p. 435-442, 2006.

SAS Institute Inc. SAS/QC® 9.3 **User's Guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc. 2012.

SILVA, C.R. **Desempenho e deposição de nutrientes em frangos de corte alimentados com diferentes níveis dietéticos de lisina.** Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 228p. 2012.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**, 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 235p.

SODRÉ, U. **Modelos matemáticos.** Londrina - PR. 2007. Disponível em: <http://www.mat.uel.br/matessencial/superior/pdfs/modelos.pdf>. Acesso em 20 de julho de 2016.

SOUZA, D. V. *et al.* Ácidos graxos e composição centesimal da carne de coelhos alimentados com ração contendo farelo de coco. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.29, n.4, p.778-784, 2009.

SOUZA, G.S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear.** Brasília: Serviço de Produção de Informação. 505p,1998.

TEDESCHI, L. O. *et al.* Estudo da curva de crescimento de animais da raça guzerá e seus cruzamentos alimentados a pasto, com e sem suplementação: análise e seleção das funções não lineares. **Rev. Bras. Zootec**, São Paulo, v. 2, n. 29, p.630-637, 2000.

TEIXEIRA, J. C. **Modelos não lineares para descrever o crescimento de codornas de corte mantidas em ambiente termoneutro.** 2016. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha-Ma, 2016.

THOLON, P. **Estudo do crescimento de perdizes (*rhynchotus rufescens*) criadas em cativeiro.** 2006. 175f. Tese (Doutorado em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal) - Curso de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP. 2006.

THORNLEY, J. H. M.; FRANCE, J. Mathematical models in agriculture: quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences. 2th ed. Wallingford, UK: CABI Publishing, 2007.

VELOSO, R. C. *et al.* Crescimento de genótipos de frangos tipo caipira. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 67, n. 5, p.1361-1371, out. 2015.

VERDE, L. S. **Crescimento e crescimento compensatório na produção animal**. Santa Maria: UFSM, 1996. 23 p.